

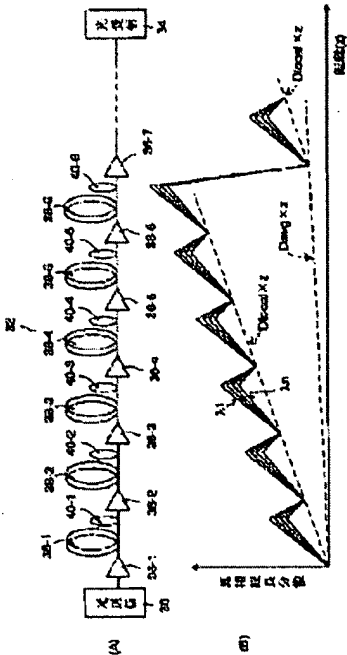
DISTRIBUTION COMPENSATING OPTICAL TRANSMISSION LINE AND SYSTEM

Publication number: JP2000261377
Publication date: 2000-09-22
Inventor: TANAKA HIROHITO; TSURITANI TAKEHIRO; EDAKAWA NOBORU; SUZUKI MASATOSHI
Applicant: KDD CORP
Classification:
- **international:** H04J14/00; H04B10/02; H04B10/18; H04J14/02; H04J14/00; H04B10/02; H04B10/18; H04J14/02; (IPC1-7): H04B10/02; H04B10/18; H04J14/00; H04J14/02
- **European:** H04B10/18D2M
Application number: JP19990062344 19990309
Priority number(s): JP19990062344 19990309

Also published as:
EP1035671 (A2)
US6594428 (B1)
EP1035671 (A3)

Report a data error here

Abstract of JP2000261377
PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a distribution compensating optical transmission line and system capable of stably transmitting a WDM signal light over a long distance. **SOLUTION:** Until the 5 relay of 6 relay spans, distribution compensating fibers 40-1 to 40-5 compensate the accumulated wavelength distribution (and a distribution slope) of each wavelength so that the accumulated wavelength distribution of respective wavelengths λ_1 to λ_n after compensating distribution may vary with respect to a distance (z) with Dlocal as inclination. A distribution compensating fiber 40-6 belonging to the last relay span of 6 relay spans reduces the accumulated wavelength distribution of the respective wavelengths λ_1 to λ_n to an accumulated wavelength distributed value equivalent to a value $Davg \times z$ obtained by multiplying a transmission distance (z) to Davg. Dlocal is larger than Davg. Hereafter, this constitution is repeated by the unit of 6 relay spans.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

K)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-261377
(P2000-261377A)

(43) 公開日 平成12年9月22日 (2000.9.22)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M 5 K 0 0 2
10/18			E
H 0 4 J 14/00			
14/02			

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平11-62344

(22) 出願日 平成11年3月9日 (1999.3.9)

(71) 出願人 000001214
ケイディディ株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目3番2号

(72) 発明者 田中 啓仁
東京都新宿区西新宿2丁目3番2号ケイディディ株式会社内

(72) 発明者 釣谷 剛宏
東京都新宿区西新宿2丁目3番2号ケイディディ株式会社内

(74) 代理人 100090284
弁理士 田中 常雄

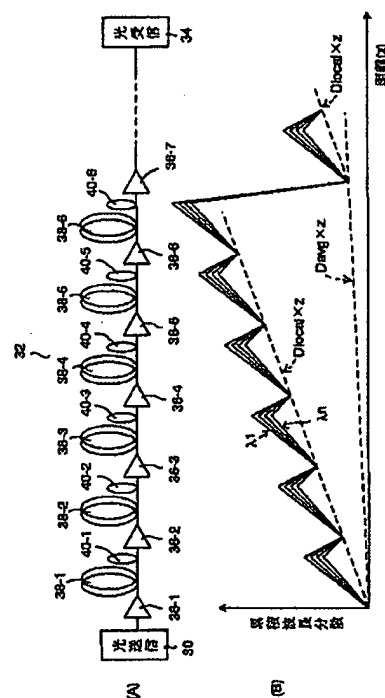
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分散補償光伝送路及びシステム

(57) 【要約】

【課題】 WDM伝送で、長距離の伝送特性を改善する。

【解決手段】 6中継スパンの5中継までは、分散補償ファイバ40-1~40-5が、分散補償後の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の累積波長分散がD localを傾きとして距離zに対して変化するように、各波長の累積波長分散（及び分散スロープ）を補償する。6中継スパンの最後の中継スパンに属する分散補償ファイバ40-6は、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の累積波長分散を、D avgに伝送距離zを乗算した値D avg×zに相当する累積波長分散値に低減する。D localはD avgより大きい。以後、この構成が、6中継スパンを単位に繰り返される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 信号光を伝送する複数の伝送用光ファイバと、

第1の分散補償周期で配置され、当該信号光の累積波長分散を伝送距離に対する第1の目標値に補償する少なくとも1つの第1の分散補償手段と、

当該第1の分散補償周期内に当該第1の分散補償周期より短い第2の分散補償周期で配置され、当該信号光の累積波長分散を、当該第1の分散補償周期内での伝送距離に対する第2の目標値に補償する複数の第2の分散補償手段とからなり、当該第1の目標値が当該第2の目標値よりも小さいことを特徴とする分散補償光伝送路。

【請求項2】 更に、当該第2の分散補償周期で配置される光中継増幅器を具備する請求項1に記載の分散補償光伝送路。

【請求項3】 当該伝送用光ファイバが、単一モード光ファイバからなる請求項1に記載の分散補償伝送路。

【請求項4】 当該第2の分散補償周期内の当該伝送用ファイバは、当該信号光の伝送方向に実効断面積が漸次、小さくなると共に、波長分散値が当該信号光の伝送方向に向かって、下流側の当該第2の分散補償手段の波長分散値に近づく複数の光ファイバからなる請求項1に記載の分散補償光伝送路。

【請求項5】 当該信号光が複数の波長の信号光を波長多重した波長多重信号光である請求項1に記載の分散補償光伝送路。

【請求項6】 当該第1の分散補償手段が、当該各波長の累積波長分散値の差を解消する請求項5に記載の分散補償光伝送路。

【請求項7】 当該第2の分散補償手段が、当該各波長の累積波長分散値の差を解消する請求項5又は6に記載の分散補償光伝送路。

【請求項8】 信号光を伝送する伝送用光ファイバ、及び、当該信号光の累積波長分散を伝送距離に対する第1の目標値に補償する第1の分散補償手段からなる第1の分散補償区間と、

当該第1の分散補償区間の周期内に連続的に配置される複数の第2の分散補償区間であって、当該信号光を伝送する伝送用光ファイバ、及び、当該信号光の累積波長分散を、当該第1の分散補償区間の周期内での伝送距離に対する第2の目標値に補償する第2の分散補償手段からなる複数の第2の分散補償区間とを具備し、当該第1の目標値が当該第2の目標値よりも小さいことを特徴とする分散補償光伝送路。

【請求項9】 当該伝送用光ファイバが、単一モード光ファイバからなる請求項8に記載の分散補償伝送路。

【請求項10】 当該第2の分散補償周期内の当該伝送用ファイバは、当該信号光の伝送方向に実効断面積が漸次、小さくなると共に、波長分散値が当該信号光の伝送方向に向かって当該第2の分散補償手段の波長分散値に

近づく複数の光ファイバからなる請求項8に記載の分散補償光伝送路。

【請求項11】 当該信号光が複数の波長の信号光を波長多重した波長多重信号光である請求項8に記載の分散補償光伝送路。

【請求項12】 当該第1の分散補償手段が、当該各波長の累積波長分散値の差を解消する請求項11に記載の分散補償光伝送路。

【請求項13】 当該第2の分散補償手段が、当該各波長の累積波長分散値の差を解消する請求項11又は12に記載の分散補償光伝送路。

【請求項14】 信号光を出力する光送信手段と、当該光送信手段から出力される信号光を伝送する複数の伝送用光ファイバと、

複数の伝送用光ファイバ間に第1の分散補償周期で配置され、当該信号光の累積波長分散を伝送距離に対する第1の目標値に補償する少なくとも1つの第1の分散補償手段と、

当該第1の分散補償周期内に当該第1の分散補償周期より短い第2の分散補償周期で配置され、当該信号光の累積波長分散を、当該第1の分散補償周期内での伝送距離に対する第2の目標値に補償する複数の第2の分散補償手段と、

当該伝送用光ファイバを伝送した信号光を受信する光受信手段とからなり、当該第1の目標値が当該第2の目標値よりも小さいことを特徴とする分散補償光伝送システム。

【請求項15】 更に、当該第1の分散補償周期で配置される光中継増幅器を具備する請求項14に記載の分散補償光伝送システム。

【請求項16】 当該伝送用光ファイバが、単一モード光ファイバからなる請求項14に記載の分散補償伝送システム。

【請求項17】 当該第2の分散補償周期内の当該伝送用ファイバは、当該信号光の伝送方向に実効断面積が漸次、小さくなると共に、波長分散値が当該信号光の伝送方向に向かって、下流側の当該第2の分散補償手段の波長分散値に近づく複数の光ファイバからなる請求項14に記載の分散補償光伝送システム。

【請求項18】 当該信号光が複数の波長の信号光を波長多重した波長多重信号光である請求項14に記載の分散補償光伝送システム。

【請求項19】 当該第1の分散補償手段が、当該各波長の累積波長分散値の差を解消する請求項18に記載の分散補償光伝送システム。

【請求項20】 当該第2の分散補償手段が、当該各波長の累積波長分散値の差を解消する請求項18又は19に記載の分散補償光伝送システム。

【請求項21】 当該光送信手段が、信号光に予め所定量の波長分散を付与するプリ分散補償素子を具備し、当

該光受信手段が、入力する信号光の累積波長分散を最終的に補償するポスト分散補償素子を具備する請求項14に記載の分散補償光伝送システム。

【請求項22】 当該プリ分散補償素子の所定量の波長分散が、当該光送信手段から当該光受信手段までの光伝送における累積波長分散の半分以上である請求項21に記載の分散補償光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、分散補償光伝送路及びシステムに関し、より具体的には、波長分割多重(WDM)信号光の長距離伝送を可能にする分散補償光伝送路及びシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】長距離の光増幅伝送システムでは、累積波長分散を所定値内に抑制する必要がある、そのために、適当な間隔で分散補償ファイバが挿入される(特開平6-11620号公報又は米国特許第5,361,319号)。

【0003】伝送容量を拡大する方法として注目されている波長分割多重(WDM)光伝送では更に、伝送用光ファイバの波長分散が各波長間で異なる(分散スロープ)ので、累積波長分散が波長毎に異なってくるという問題がある。当初は、波長間の累積波長分散値の差を受信側又は送信側で補償する構成が提案されたが、送信側又は受信側で補償できる分散量にも限度がある。また、許容できる分散値の差は、1波あたりの伝送速度が大きくなるにつれ小さくなる傾向にある。

【0004】そこで、各光中継スパンを、1.3 μ m帯にゼロ分散波長を有する単一モード光ファイバと、その波長分散及び分散スロープ、すなわち、波長間の累積波長分散の差の両方を補償するスロープ補償型分散補償ファイバとで構成した光伝送システムが提案された。(例えば、特開平6-11620号公報又は米国特許第5,361,319号、及びD. Le Guen et al., "NarrowBand 640Gbit/s Soliton WDM transmission over 1200km of Standard Fibre with 100km 21dB Amplifier Spans", ECOC '98, September 1998, Postdeadline papers, pp. 61-63)

【0005】図2は、数中継スパン毎の周期で累積波長分散を補償する光伝送路とその累積波長分散の距離変化を示す。分散スロープも同時に補償する分散スロープ補償型の分散補償ファイバを用いている。図2(A)は伝送路の構成を、同(B)は、図2(A)に示す伝送路に対する累積波長分散の距離変化を示す。10は信号光を出力する光送信装置、12は伝送用光ファイバであり、1.5 μ m帯に零分散波長を有する単一モード光ファイ

バ(分散シフトファイバ)からなる。14は光中継増幅器、16は各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の累積波長分散値を所定値に低減するスロープ補償型の分散補償ファイバ(SCDCF: Slope Compensating Dispersion Compensation Fiber)である。分散補償ファイバ16は、複数の光中継区間毎に挿入されている。スロープ補償型の分散補償ファイバ16は例えば、伝送用光ファイバ12とは波長分散値及び分散スロープの極性が共に逆になっているファイバからなる。

【0006】 D_{avg} は、システム全体の目標となる波長分散値である。各分散補償ファイバ16による分散補償の目標値は、目標値 D_{avg} に起点からの伝送距離 z を乗算した値となる。 D_{local} は分散補償ファイバ16による分散補償前の波長分散値、すなわち、伝送用ファイバ12の波長分散値である。累積波長分散は、伝送距離に対して係数 D_{local} で増加する。分散補償ファイバ16は、各波長の累積波長分散を伝送距離 z に D_{avg} を乗算した値にまで減少、すなわち補償する。 D_{local} は、一般に、波長により異なる。

【0007】長距離伝送の場合、非線形効果が少なからず存在するので、非線形効果を波長分散値とバランスさせるためにも、システム全体の平均的な波長分散値 D_{avg} をゼロでない小さい値とするのが普通である。

【0008】図3は、光増幅中継周期で累積波長分散を補償する従来例の伝送路とその累積波長分散の距離変化を示す。図3(A)は伝送路、同(B)は、図3(A)に示す伝送路に対する累積波長分散の距離変化を示す。20は信号光を出力する光送信装置、22は光増幅中継器、24は1.3 μ m帯にゼロ分散波長を有する単一モード光ファイバからなる伝送用光ファイバ、26はスロープ補償型分散補償ファイバ(SCDCF)である。光増幅中継器22による各光中継スパン内に、伝送用ファイバ24とスロープ補償型分散補償ファイバ(SCDCF)26が挿入されている。すなわち、分散補償周期は光増幅中継周期に一致する。

【0009】一般に光ファイバの非線形性は n_2/A_{eff} で表現される。 n_2 は非線形定数、 A_{eff} は実効断面積である。SCDCFは、非線形性 n_2/A_{eff} が通常の単一モード光ファイバよりも大きくなる。分散補償ファイバ26が頻繁に挿入される従来例では、伝送特性に影響を与える非線形作用が大きくなる。従って、その非線形効果と波長分散値をバランスさせて長距離伝送を行うには、分散補償ファイバ26による分散補償後の波長分散値 D_{avg} 、すなわち、システム全体の波長分散値は、大きめに設定される。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】大洋間のような長距離伝送の場合には、前述の通り、非線形効果が少なからず存在するので、非線形効果を波長分散値をバランスさせ

るためにもシステム全体の平均波長分散値 D_{avg} をゼロでない小さい値とするのが望ましい。

【0011】図2に示す従来例では、伝送用光ファイバとして分散シフトファイバを用いている。分散シフトファイバの波長分散値は $1.5 \mu\text{m}$ 帯では小さいので、相対的に非線形の影響が大きくなりすぎる。具体的には、WDM伝送の場合、分散補償ファイバ16による分散補償前の区間でのローカルな波長分散値が小さいので、各波長間の相互作用長が長くなり、XPM (Cross Phase Modulation) の影響が大きくなり、安定な長距離伝送を実現できない。

【0012】他方、伝送用光ファイバ12として、 $1.5 \mu\text{m}$ 帯で波長分散が大きい単一モードファイバを使用すれば、WDM信号光の各波長間の相互作用長を短縮でき、XPMの影響を抑圧できるが、累積波長分散値(絶対値)を所定値内に抑制するには、分散補償ファイバ14をより短い期間で挿入しなければならない。換言すると、分散補償周期を短くしなければならず、結果的に、図3(A)に示す構成に近づくことになる。

【0013】図3に示す従来例では、伝送用光ファイバ24として $1.3 \mu\text{m}$ 帯にゼロ分散波長を有する単一モード光ファイバを使用することにより、ローカルの波長分散値を大きくして、WDM信号光の各波長間の相互作用長を短縮でき、XPMの影響を抑圧できる。しかし、分散補償ファイバ26が頻繁に挿入されることになり、システム全体で生じる非線形作用が大きくなる。このような大きな非線形作用と波長分散値をバランスさせようとすると、分散補償後の波長分散値 D_{avg} が大きくなりすぎる。その結果として、逆に大きな波長分散値が問題となり、伝送特性を劣化させる。具体的には、ジッタ及び分散耐力などが問題となる。この問題は、大洋間のような長距離伝送でより顕著である。

【0014】本発明は、長距離にわたりWDM信号光を安定に伝送できる分散補償光伝送路及びシステムを提示することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明では、信号光の累積波長分散を伝送距離に対する第1の目標値に補償する少なくとも1つの第1の分散補償手段を第1の分散補償周期で配置すると共に、その第1の分散補償周期より短い第2の分散補償周期に、累積波長分散を第1の分散補償周期内での伝送距離に対する第2の目標値に補償する複数の第2の分散補償手段を配置する。そして、第1の目標値を第2の目標値よりも小さくする。

【0016】これにより、第1の分散補償周期内でWDM信号光の良好な伝送特性を実現しつつ、伝送システム全体での波長分散の管理が容易になる。

【0017】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

【0018】図1(A)は、本発明の一実施例の概略構成ブロック図を示し、同(B)は、その累積波長分散の距離変化を示す。

【0019】30は、WDM信号光を光伝送路32に出力する光送信装置、34は光伝送路32を伝搬したWDM信号光を受信する光受信装置である。光伝送路32は、光中継増幅器36(36-1, 36-2, ...)、伝送用光ファイバ38(38-1, 38-2, ...)と、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の信号光の累積波長分散を所定の目標値に補償するスロープ補償型分散補償ファイバ40(40-1, 40-2, ...)からなる。光中継増幅器36による各中継スパン内に伝送用光ファイバ38と分散補償ファイバ40が挿入されている。

【0020】本実施例では、図1(B)に示すように、分散補償ファイバ40による分散補償目標値として2つの波長分散値 D_{local} , D_{avg} を設け、6中継スパンを D_{avg} に対する分散補償周期(第1の分散補償周期)とし、その中の5中継スパンのそれぞれを、 D_{local} に対する分散補償周期(第2の分散補償周期)とした。図1(B)からも分かるように、 D_{local} は D_{avg} より大きい。 D_{local} は、第1の分散補償周期内での、分散補償の目標となる波長分散値を示す。 D_{avg} は、伝送路32全体での、分散補償の目標となる波長分散値を示す。いくつの中継スパンを第1の分散補償周期とするかは実際の光伝送路の仕様による。

【0021】具体的には、第1の分散補償周期内の最初の5中継までは、分散補償ファイバ40(図1(A)では、分散補償ファイバ40-1~40-5)が、分散補償後の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長分散が D_{local} になるように、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の累積波長分散(及び分散スロープ)を補償する。換言すると、分散補償ファイバ40-1~40-5は、分散補償後の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の累積波長分散が D_{local} を傾きとして距離 z に対して変化するように、各波長の累積波長分散(及び分散スロープ)を補償する。6中継スパンの最後の的中継スパンに属する分散補償ファイバ40-6は、分散補償後の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長分散が D_{avg} になるように、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の累積波長分散(及び分散スロープ)を補償する。すなわち、分散補償ファイバ40-6は、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の累積波長分散を、 D_{avg} に伝送距離 z を乗算した値 $D_{avg} \times z$ に相当する値に低減する。

【0022】この6中継区間を基本単位として、同じ構成が、以降の光受信装置34までの光伝送路で繰り返されることになる。

【0023】伝送用光ファイバ38は、例えば、 $1.3 \mu\text{m}$ 帯にゼロ分散波長を有する単一モード光ファイバからなる。第2の分散補償周期内、具体的には1中継スパン内の伝送用光ファイバ38を、 $1.3 \mu\text{m}$ 帯にゼロ分散波長を有する単一モード光ファイバ(例えば、波長分

散値+18 ps/nm/km)に続けて、負分散の光ファイバ又は分散値の小さい正分散ファイバを接続した構成とし、その後に分散スロープ及び波長分散を補償する負分散の光ファイバ40-1~40-5を接続してもよい。このように波長分散を漸次的に変化させるのが好ましいのは、分散補償ファイバ40-6の直前の伝送用光ファイバ38についても同様である。こうすることで、1中継スパン内での累積波長分散の増加を効果的に抑制でき、伝送特性が向上する。

【0024】また、このように、分散伝送用ファイバ38が複数の光ファイバからなる場合、各光ファイバを、当該信号光の伝送方向にその実効断面積が漸次、小さくなると共に、その波長分散値が当該信号光の伝送方向に向かって、下流側の分散補償ファイバ40-1~40-5の波長分散値に近づくように配置するのが好ましい。これにより、分散補償ファイバ40-1~40-5へ入射するときに、実効断面積が急激に低下し、波長分散値も急変するのを緩和できる。分散補償ファイバ40-6の直前の伝送用光ファイバ38-6も同様であるのが好ましい。

【0025】光送信装置30から出力されるWDM信号光は、伝送用光ファイバ38及び分散補償ファイバ40を伝搬しつつ、光中継増幅器36で光増幅され、最終的に光受信装置34に入力する。分散補償ファイバ40は、図1(B)に示すように各波長光(波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$)の累積波長分散を補償する。

【0026】このように構成することで、ローカルの波長分散値を大きくしつつ、伝送システム全体としての波長分散値 D_{avg} を小さく抑制できる。その結果、WDM伝送の各波長間の相互作用長を短縮できると共に波長分散の管理が容易になり、全体的な伝送特性を改善できる。換言すると、マイクロ及びマクロの両面で、波長分散と非線形作用を共にバランスさせつつ、マイクロ的には波長分散値を大きくすることでWDM信号光の伝送特性を改善でき、マクロ的には累積波長分散が過大になるのを抑制することで分散管理が容易になる。

【0027】信号光に予め負方向の波長分散を与えておいてから、光伝送路に出力しても良い。そうすれば、位相変調と同様の効果を楽しむことができるので、光送信装置に位相変調器を設けなくて良くなるか、又は、位相変調器が必要な場合にも位相変調度を小さくすることができる。また、スペクトル拡がり回避でき、チャンネル間隔を狭くすることができる。これは、大洋間のような長距離又は超長距離の光伝送システムで特に有効である。

【0028】図4は、光伝送路に出力する前に波長分散を与える本発明の第2実施例の概略構成ブロック図を示し、図5は、その累積波長分散の距離変化の模式図を示す。

【0029】50は光送信装置、52は光受信装置、54は光伝送路32と同様に、2つの分散補償周期で各波

長の累積波長分散を補償する分散補償光伝送路である。

【0030】光送信装置50は、WDM信号光を出力する信号光発生装置56と、信号光発生装置56の出力光に負方向の波長分散値を与えて伝送路54に送出するプリ分散補償素子58とを具備する。プリ分散補償素子58により予め信号光に与えられる波長分散値は、光伝送路54の累積波長分散値の半分以上が好ましい。

【0031】光受信装置50は、光伝送路54を伝送した信号光に残る波長分散を補償するポスト分散補償素子60と、ポスト分散補償素子60の出力光から信号を検出する信号光検出装置62を具備する。

【0032】先に説明したように、光伝送路54は、光伝送路32と同じ構造からなる。すなわち、光伝送路54は、伝送用光ファイバ64と、光中継増幅器66と、第1の分散補償周期L1で挿入される第1の分散補償ファイバ68と、第1の分散補償周期L1内で、光中継増幅器66の光中継スパンL2毎に挿入される第2の分散補償ファイバ70とを具備する。

【0033】図5に示すように、第1の分散補償ファイバ68は、分散補償ファイバ40-6と同様に、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の累積波長分散値を、 D_{avg} に伝送距離 z を乗算した値 $D_{avg} \times z$ に相当する累積波長分散値に低減する。図5に示すように、第2の分散補償ファイバ70は、分散補償ファイバ40-1~40-5と同様に、第1の分散補償周期L1内で分散補償後の各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の累積波長分散が D_{local} を傾きとして距離 z に対して変化するように、各波長の累積波長分散(及び分散スロープ)を補償する。

【0034】第1実施例と同様に、伝送用光ファイバ64は、例えば、1.3 μ m帯にゼロ分散波長を有する単一モード光ファイバからなる。第2の分散補償周期内、具体的には1中継スパン内の伝送用光ファイバ64を、1.3 μ m帯にゼロ分散波長を有する単一モード光ファイバ(例えば、波長分散値+18 ps/nm/km)に続けて、負分散の光ファイバ又は分散値の小さい正分散ファイバを接続した構成とし、その後に分散スロープ及び波長分散を補償する負分散の光ファイバ70を接続してもよい。波長分散を漸次的に変化させるのが好ましいのは、分散補償ファイバ68の直前の伝送用光ファイバ64についても同様である。こうすることで、1中継スパン内での累積波長分散の増加を効果的に抑制でき、伝送特性が向上する。

【0035】分散伝送用ファイバ64が複数の光ファイバからなる場合、各光ファイバを、当該信号光の伝送方向にその実効断面積が漸次、小さくなると共に、その波長分散値が当該信号光の伝送方向に向かって、下流側の分散補償ファイバ70の波長分散値に近づくように配置するのが好ましい。これにより、分散補償ファイバ70へ入射するときに、実効断面積が急激に低下し、波長分散値も急変するのを緩和できる。分散補償ファイバ68

の直前の伝送用光ファイバ64も同様であるのが好ましい。

【0036】光伝送路54における累積波長分散の半分散の波長分散値を予め補償して光伝送路54に信号光を出力することにより、光伝送路54上で、累積波長分散の最大値を小さく抑制することが容易になる。大洋間のような長距離伝送で、WDM伝送に対し良好な伝送特性が得られる。

【0037】実際に、1中継スパンを約47km（伝送用光ファイバ64を40km、分散補償ファイバ68、70を約7km）とし、6中継スパンを1周とする周回実験系で、1.5μm帯の、それぞれ10Gb/sの32波長を波長分割多重して7300km伝送させて、その伝送特性を調べた。6中継スパンを基本として、その中の最初の5中継スパンに分散補償ファイバ70を挿入し、最後の1中継スパンに分散補償ファイバ68を挿入した。プリ分散補償素子58によるプリ分散補償値を-1400ps/nmとした。7300km伝送で累積する波長分散値は+1830ps/nmである。プリ分散補償量を-1000ps/nm、-1200ps/nm、-1600ps/nm及び-1800ps/nmとしたときには、プリ分散補償量を-1400ps/nmとしたときと同様の良好な伝送特性が得られた。プリ分散補償量を-800ps/nmとすると、Q値にして約0.5dBの劣化が見られた。

【0038】Dlocalを0.5乃至3.0ps/nm/km、Davgを0.15乃至0.3ps/nm/kmとすることで、1.5μm帯で良好な伝送特性が得られ、 10^{-9} 以下のビット誤り率（BER）を達成できた。上述の周回実験では、Dlocalを約2.0ps/nm/km程度、Davgを約0.25ps/nm/kmとすることで、伝送特性が最も良好であった。

【0039】図6は、各チャネルのQ値の実験結果を示す。図6の横軸は、波長（チャネル）、縦軸はQ（dB）をそれぞれ示す。図6に示すように、波長間でほぼ平坦な特性が得られた。平均値のQ値は15.87dBであった。図7は、Dlocalを2.0ps/nm/km、Davgを0.25ps/nm/kmとした場合の、累積波長分散の距離変化の実測値を示す。図7で、縦軸は累積波長分散、横軸は伝送距離をそれぞれ示す。図7は、周回実験の1周分の累積波長分散の距離変化を示す。なお、プリ分散補償を用いない場合に、プリ分散補償を用いた場合と同程度の伝送特性を得るためには、位相変調度を大きく増加させる必要があり、スペクトル線幅が広がることから、チャネル間隔を拡げる必要があった。このことから、本実施例におけるプリ分散補償が位相変調度の低減に有効であることが分かる。

【0040】Davgに対して伝送特性がどのような変化を示すかを調べた。図8は、Dlocal=2.2ps/nm/kmのときの、Davgに対するQ（dB）

の測定結果を示している。縦軸はQ（dB）、横軸はDavgである。Dlocal=1.5ps/nm/kmの場合にも、同様の山なりの結果が得られている。Q値がその最適値より1dB小さくなる範囲をDavgの最適範囲と定義すると、Davgは0.15乃至0.3ps/nm/kmが好ましいといえる。

【0041】上記実施例では、分散補償ファイバ40-1~40-6, 68, 70が各波長間の累積波長分散の差、すなわち分散スロープをゼロにするように各波長λ1~λnの累積波長分散を補償している。しかし、これは理解を容易にするために理想的な状況を説明するものである。本発明は、波長分散を補償する分散補償伝送システムに広く適用可能であり、光伝送路上で分散スロープが完全にゼロになることを必須の要件とはしない。

【0042】光伝送路54上、特に、光伝送路54の出力段で各波長λ1~λnの累積波長分散が一致しない場合、光受信装置62内で、各波長λ1~λn毎に累積波長分散を補償すればよい。図9は、そのように変更した光受信装置62の概略構成ブロック図を示す。波長分離素子72は、光伝送路54から入力する信号光を、各波長λ1~λnの成分に分離する。波長分離素子72に入力する。波長分離素子72は、波長分離素子72により分離された各波長λ1~λnの信号光はそれぞれ、分散補償素子74-1~74-nを介して信号光検出装置76-1~76-nに入力する。分散補償素子74-1~74-nの分散補償量は、各波長の累積波長分散が所定の一定値になるように個別に調節される。光伝送路54の分散補償ファイバ68, 70による分散補償後に各波長λ1~λnの累積波長分散が一致しなくても、分散補償素子74-1~74-nにより、各波長の累積波長分散を一定値に合致させることができる。

【0043】累積波長分散が正方向に増加する例を説明したが、本発明は、累積波長分散が負方向に増加する場合にも適用できることは明らかである。

【0044】分散補償手段は、上述のSCDCF以外にも、チャープドファイバ・グレーティングでもよく、更には、ファイバ型以外にも、プレーナ光回路からなるものであってもよい。

【0045】

【発明の効果】以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、良好な長距離伝送特性を実現でき、しかも、分散管理が容易になる。特に、WDM伝送で良好な伝送特性を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例の概略構成ブロック図と累積波長分散の距離変化を示す。

【図2】 従来例の概略構成ブロック図と累積波長分散の距離変化を示す。

【図3】 別の従来例の概略構成ブロック図と累積波長分散の距離変化を示す。

【図4】 本発明の第2実施例の概略構成ブロック図である。

【図5】 図4に示す実施例の累積波長分散の距離変化を示す模式図である。

【図6】 第2実施例の実験結果例を示す図である。

【図7】 第2実施例による累積波長分散の距離変化の実測結果を示す図である。

【図8】 D_{avg} に対する Q 値の変化の測定例である。

【図9】 光受信装置62の変更例の概略構成ブロック図である。

【符号の説明】

10：光送信装置

12：伝送用光ファイバ

14：光中継増幅器

16：スロープ補償型分散補償ファイバ

20：光送信装置

22：光増幅中継器

24：伝送用光ファイバ

26：スロープ補償型分散補償ファイバ

30：光送信装置

* 32：光伝送路

34：光受信装置

36 (36-1, 43-2, ...)：光中継増幅器

38 (38-1, 38-2, ...)：伝送用光ファイバ

40 (40-1, 40-2, ...)：スロープ補償型分散補償ファイバ

50：光送信装置

52：光受信装置

54：光伝送路

56：信号光発生装置

58：プリ分散補償素子

60：ポスト分散補償素子

62：信号光検出装置

64：伝送用光ファイバ

66：光中継増幅器

68：分散補償ファイバ

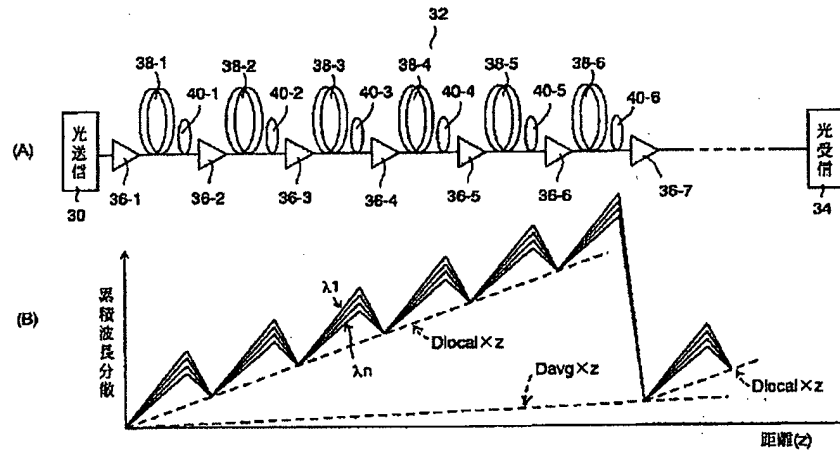
70：分散補償ファイバ

72：波長分離素子

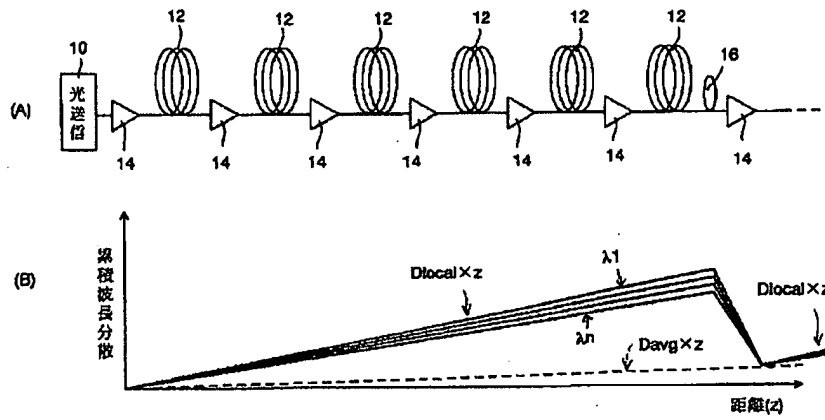
20 74-1 ~ 74-n：分散補償素子

* 76-1 ~ 76-n：信号光検出装置

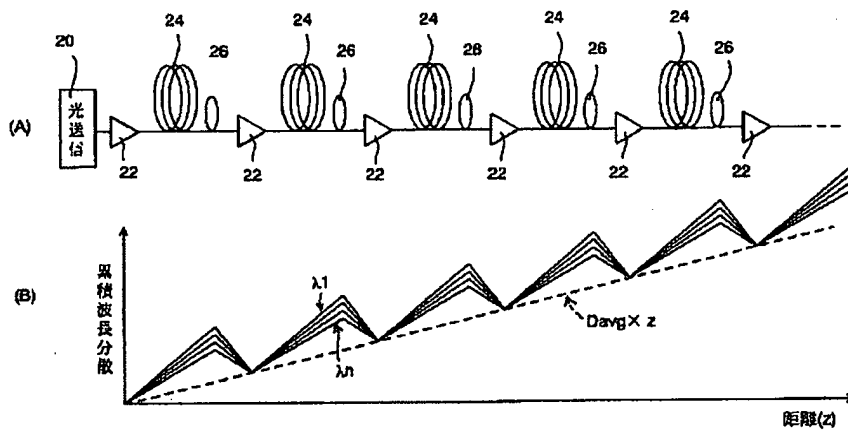
【図1】



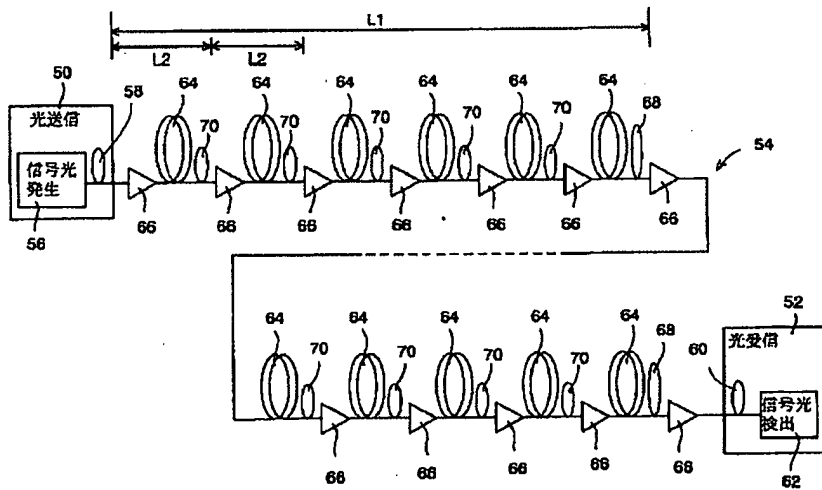
【図2】



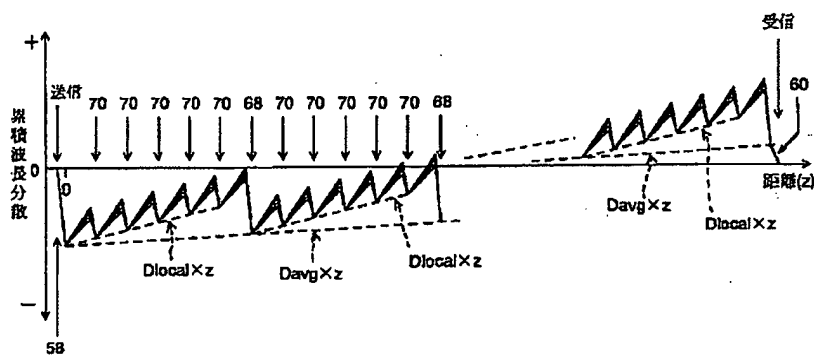
【図3】



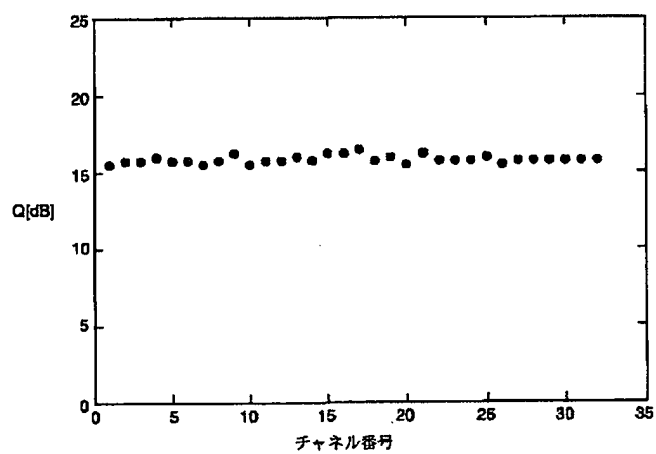
【図4】



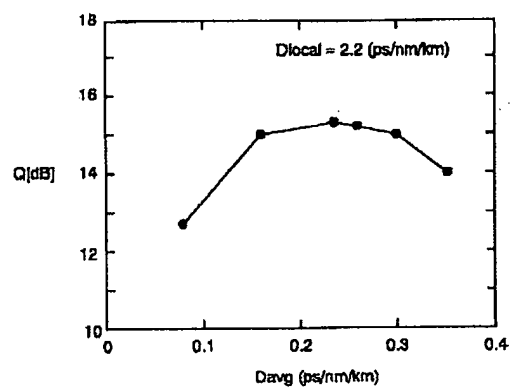
【図5】



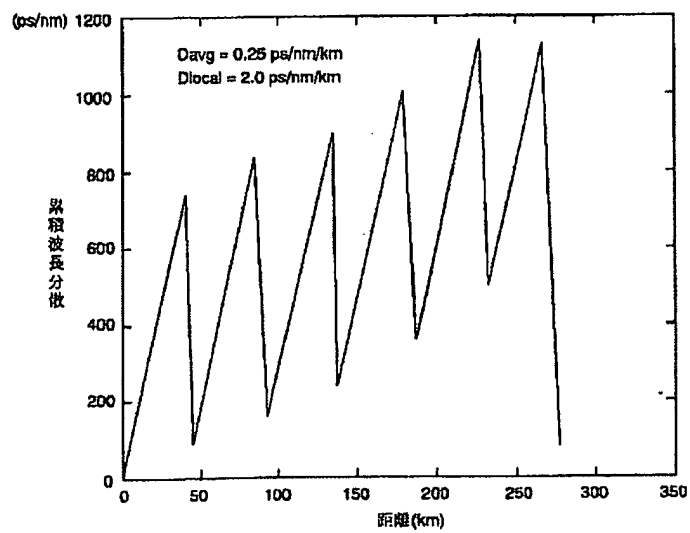
【図6】



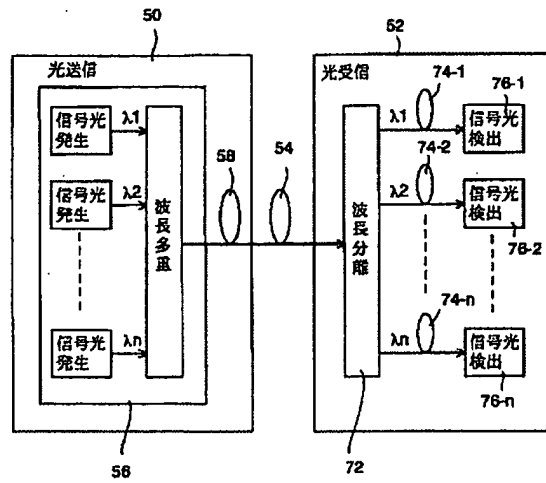
【図8】



【図7】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 枝川 登
東京都新宿区西新宿2丁目3番2号ケイデ
ィディ株式会社内

(72)発明者 鈴木 正敏
東京都新宿区西新宿2丁目3番2号ケイデ
ィディ株式会社内
Fターム(参考) 5K002 AA06 BA02 CA01 CA13 DA02
FA01 FA02